SEGUIN

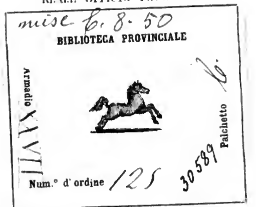
MÉCANIQUE

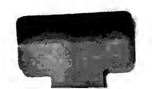
INDUSTRIELLE

N.-40


FONDO PIZZOFALCONE


NAZIONALE
BIBLIOTECA
VITTORIO EM. III
B. Prov.
Miscellanea
C
8
50
NAPOLI


REALE OFFICIO TOPOGRAFICO
misc C. 8. 50
BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio XXVII
Palchetto C.
Num.° d'ordine 125
30589



MÉCANIQUE INDUSTRIELLE.

MÉMOIRE

Sur un nouveau Système de Moteur fonctionnant toujours avec la même vapeur, à laquelle on restitue, à chaque coup de piston, la chaleur qu'elle a perdue en produisant l'effet mécanique;

PAR M. SEGUIN AÎNÉ.

J'ai eu l'honneur de faire part à l'Académie, le 3 janvier 1855 (1), du projet que j'avais conçu de construire une machine à vapeur sur le nouveau principe que j'ai mis en avant, suivant lequel le calorique et le mouvement seraient des manifestations, sous des formes différentes, des effets d'une seule et même cause, et de la possibilité que j'entrevoyais d'arriver à ne dépenser pour produire la force, que la quantité de chaleur qui représente strictement la puissance mécanique obtenue.

On sait, en effet, que dans les machines à vapeur, telles qu'on les emploie dans l'industrie, on fait usage de la vapeur d'eau à l'état de saturation, et qu'on la rejette dans l'air, ou qu'on la condense en brisant son ressort, après s'en être servi, perdant ainsi toute la chaleur qu'il a été nécessaire d'employer pour la réduire en vapeur. Or, comme la quantité de chaleur employée pour réduire l'eau en vapeur est très-considérable, eu égard à celle qui est nécessaire pour élever ensuite sa température, et par suite augmenter son ressort, j'en ai conclu que si l'on pouvait parvenir à construire une machine dans laquelle on se servirait toujours de la même vapeur, en lui restituant à chaque coup de piston la quantité de chaleur qui s'est transfor-

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie*, t. XL, n° 1, 3 janvier 1855, p. 5. *Cosmos*, t. VIII, p. 4.

mée en puissance mécanique, on éviterait une perte énorme, et l'on arriverait à ne dépenser strictement que la quantité de chaleur et par conséquent de combustible représentant la force produite.

Tout incomplètes que fussent les expériences que j'avais faites pour déterminer le temps nécessaire à l'échauffement de la vapeur, lorsqu'on la met en contact avec des surfaces plus chaudes, ces expériences m'avaient toutefois porté à croire que ce temps était en réalité tres-court. Ce résultat paraissait en contradiction avec les nombreuses expériences connues précédemment; toutes s'accordaient pour attribuer aux gaz, et par conséquent aux vapeurs, qui jusqu'ici ont toujours été assimilées aux gaz, une très-faible conductibilité pour la chaleur. Imbu de cette idée, je crus qu'il serait nécessaire pour donner à la vapeur le temps de se surchauffer, d'établir deux générateurs. Partant de l'un, et après avoir produit son effet dans le cylindre, la vapeur viendrait dans l'autre reprendre la chaleur qu'elle aurait perdue en produisant l'effet mécanique. Je crus cependant qu'il était prudent, avant d'exécuter en entier la machine que j'avais prié notre célèbre mécanicien M. Farcot de faire construire dans ses ateliers, de ne lui demander d'abord qu'un seul des deux générateurs, afin de faire des expériences préalables qui pussent me fixer d'une manière décisive sur le temps exactement nécessaire à ce réchauffement : me réservant de faire ensuite, s'il y avait lieu, à la machine en construction les modifications convenables.

Les générateurs tels que j'en avais indiqué la construction à M. Farcot, devaient être formés par deux tubes en fer de 3 mètres de longueur, de 8 centimètres de diamètre intérieurement, et de 1 centimètre d'épaisseur. Ces deux tubes devaient être réunis l'un à l'autre par un coude de même métal et enveloppé dans un massif en fonte de fer, ayant partout une épaisseur de 6 centimètres au moins.

La confection de cette pièce coûta beaucoup de peine et de soins à M. Farcot; elle ne put réussir qu'après plusieurs essais infructueux, qui firent courir quelques dangers aux ouvriers, et faillirent occasionner l'incendie d'une partie de l'établissement.

Ce ne fut que le 15 décembre 1855 qu'il me fut possible, aidé de mes fils et de mes gendres MM. Montgolfier, d'entreprendre une longue suite d'expériences avec le générateur mis à notre disposition. Son poids était de 1800 kilogrammes, il fut placé dans un fourneau où il était séparé du foyer par une voûte en briques, percées d'ouvertures pour laisser passer et circuler la flamme autour de lui, comme on le pratique pour chauffer les cornues dont on fait usage dans la production du gaz hydrogène carboné. Le four-

neau fut établi à proximité d'une chaudière servant à alimenter une machine à vapeur, timbrée pour résister à dix atmosphères, et employée dans la fabrique de papier de mes gendres.

A la partie supérieure du générateur, on avait pratiqué dans l'épaisseur de la fonte plusieurs réservoirs de 2 centimètres de diamètre, de 2 centimètres de profondeur, qui répondaient à des regards fermés avec des briques mobiles. Dans ces réservoirs étaient placés des fragments d'étain, de plomb et de zinc, afin qu'on pût, en observant le moment où ces divers métaux entreraient en fusion, apprécier, d'une manière au moins approximative, la température de la partie supérieure du générateur qui était la plus éloignée du feu, et par conséquent la moins chaude. Pour connaître la tension de la vapeur dans les diverses parties de l'appareil, on adapta à la chaudière un manometre métallique de Bourdon; un autre manomètre semblable et bien repéré sur le premier fut aussi établi près du générateur et mis en communication avec lui.

On détermina la quantité de vapeur que pouvait fournir la chaudière en la chauffant pendant plusieurs heures de suite par un feu bien soutenu et maintenant exactement au même niveau, au moyen de l'indicateur, l'eau contenue dans la chaudière. La moyenne de la quantité d'eau évaporée fut de 100 kilogrammes à l'heure, représentant 170000 litres de vapeur à 100 degrés, à la pression d'une atmosphère.

Les expériences que nous avons faites, et dont je vais rendre compte, ont eu lieu généralement lorsque les trois métaux étaient fondus, et que la partie inférieure du générateur était d'un rouge obscur qui me paraissait répondre à une température d'environ 800 degrés. Afin d'éprouver la résistance de la fonte et du fer à ce degré de chaleur, j'ai disposé dans un feu de forge un petit appareil en forme de machine d'essai, consistant en un anneau solidement fixé à l'un des côtés de l'aire de la forge, dans l'œil duquel était fixé un barreau carré en fonte de fer de 9 millimètres de côté, soit 81 millimètres de section, dont le milieu répondait au centre du feu de forge : l'autre extrémité du barreau était fixée à une tringle en fer attachée par son autre bout à une équerre en bois; sur la branche horizontale de l'équerre on avait placé des poids dont l'ensemble produisait sur la tige en fer et le barreau mis en expérience, un effort horizontal de $93^k,80$, représentant une traction de $1^k,16$ par millimètre carré, exercée sur la fonte.

On chauffa alors lentement et avec précaution au charbon de bois, jusqu'à ce que le barreau fût brisé, on retira subitement les morceaux du feu; ils parurent à tous ceux qui assistaient à l'expérience dépasser le rouge-

cerise et commencer à atteindre le rouge-blanc; nous estimâmes leur température de 800 à 1000 degrés.

Dans une seconde expérience, la fonte fut remplacée par un fil de fer de 5 millimètres de diamètre, soit $19^{mm},67$ carrés de section. Le plateau fut chargé de manière à exercer sur le fil de fer une traction de $41^k,30$, et la fracture eut lieu à une température qui nous parut à peu près égale à celle de l'expérience précédente; le fer avait donc supporté $\frac{43,30}{19,67} = 2^k,10$ par millimètre carré.

Ces expériences et toutes celles qui suivent ont été faites sans aucune prétention à cette exactitude minutieuse que l'on considère comme indispensable, lorsqu'il est question de déterminations qui doivent servir de base à des calculs scientifiques.

Ayant une nombreuse série de questions à résoudre, peu de temps à y sacrifier, nous avons dû nous borner à des approximations suffisantes pour nous laisser toute certitude que dans les applications que nous aurions à en faire, nous resterions toujours bien en deçà des limites dans lesquelles il pouvait se présenter des accidents ou des dangers à courir.

Comme le générateur était enveloppé dans les parties les plus faibles d'une épaisseur de fonte de 6 centimètres, laquelle, jointe à la sienne propre, constituait une épaisseur de 7 centimètres, si l'on calcule la résistance dans le sens perpendiculaire à sa longueur, on trouvera que, pour une surface de 1 centimètre carré, l'effort exercé par la tension du gaz dans le générateur a lieu sur deux sections qui ont pour côtés d'une part 70 centimètres, épaisseur de l'enveloppe du générateur, de l'autre 10 millimètres, côté du carré qui supporte la pression; la surface de chacune des sections est donc de $70 + 10$ ou 700 millimètres, et la surface de leur ensemble de 1400 millimètres, qui, d'après les expériences précédentes, auraient pu résister au moins à un effort de 1400 kilogrammes à une température de 800 à 1000 degrés.

Mais la pression intérieure s'exerçait sur une section de 7 centimètres carrés, représentant pour une atmosphère une pression d'environ 7 kilogrammes; l'effort qui avait fait briser la fonte et le fer dans l'expérience, aurait donc été représenté ici par une pression de 200 atmosphères. Or nous avions résolu, dans les expériences que nous allions entreprendre, de ne jamais soumettre les appareils à des pressions supérieures à 10 atmosphères; nous nous trouvions donc, de ce côté, dans toutes les limites de sécurité que l'on pouvait désirer.

Le feu fut alors allumé sous le générateur; au bout de quarante-huit heures tous les métaux étaient fondus dans les réservoirs qui avaient été pratiqués dans la paroi la plus élevée de la branche supérieure.

On commença par introduire d'abord 50 grammes, puis 100, ensuite 150, enfin jusqu'à 300 grammes d'eau dans le générateur pour s'assurer que l'appareil ne laissait échapper la vapeur dans aucune de ses parties, et pour déterminer un commencement d'oxydation à l'intérieur du générateur qui pût former une espèce d'enduit qui aurait pour effet d'empêcher la vapeur d'être décomposée dans son contact avec les surfaces rouges du générateur; et lorsque toutes les parties de l'appareil eurent fonctionné d'une manière satisfaisante jusqu'à la pression de 10 atmosphères, on se disposa à y introduire la vapeur.

La chaudière fournissant 170 000 litres de vapeur à l'heure, soit $\frac{170000}{3600} = 47$ litres par seconde, et le générateur ayant une capacité de 30 litres, il en résultait que la vapeur séjournait $\frac{30}{47} = 0^s,63$, environ deux tiers de seconde dans le générateur.

La température de la vapeur indiquée par le thermomètre à mercure placé sur le tube en cuivre à son entrée dans le générateur, a été dans une expérience faite le 10 décembre 1855, en moyenne, pendant une heure, de 87 degrés; la pression de la vapeur dans la chaudière, $1\frac{1}{2}$ atmosphère; la pression dans le générateur, 1 atmosphère; la température au sortir du générateur, 221 degrés.

Mais les thermomètres n'indiquaient pas évidemment toute la température de la vapeur, puisqu'à son entrée, où sa pression dépassait celle de l'atmosphère, le thermomètre ne s'élevait qu'à 87 degrés au lieu de dépasser 110 degrés environ, qui eussent répondu à la pression de $1\frac{1}{2}$ atmosphère à laquelle se trouvait la vapeur. Les thermomètres cependant étaient placés dans de petits godets en cuivre semi-circulaires, appliqués contre les tuyaux de conduite de la vapeur entourés de bandes de drap. Nous cherchâmes à déterminer plus exactement la chaleur de la vapeur à sa sortie du générateur en remplaçant les thermomètres par des enfoncements faits avec un pointeau obtus sur les tubes en cuivre, dans lesquels on mettait de l'étain, du plomb et du zinc recouverts de résine. La fusion de l'étain et du plomb, constamment obtenue, nous indiqua qu'effectivement la température de la vapeur dépassait de beaucoup 230 degrés; elle atteignait même 334 degrés, car il arriva qu'une fois le tuyau de zinc qui servait d'échappement à la vapeur à sa sortie du générateur fut fondu.

Pour s'assurer de la promptitude avec laquelle la vapeur perdait son calorique, on adapta au générateur un tube en cuivre long de 10 mètres sur 27 millimètres de diamètre; on laissa la vapeur se répandre dans le générateur, en ouvrant le robinet de communication entre la chaudière et le générateur, et s'échapper par le tube; et l'on observa que la chaleur de la vapeur a la distance de 2 mètres était suffisante pour obtenir la fonte de l'étain, soit 230 degrés.

La fusion de l'étain exposé au jet de vapeur avait lieu comme celle de fragments de glace longs et étroits approchés d'un feu très-vif. Le métal se détachait par couches excessivement minces et était enlevé par le jet de vapeur, mais du côté seulement où il s'y trouvait exposé. La vapeur, quoiqu'à une haute température, ne possédait néanmoins qu'une faible quantité de chaleur; cette chaleur, transmise immédiatement à la couche de métal avec laquelle elle se trouvait en contact, ne pouvait suffire qu'à attaquer une pellicule extrêmement mince, fondue à l'instant même, et avant que la couche métallique adjacente, immédiatement placée au-dessous de celle qui se liquéfiait, eût le temps de participer à l'élévation de température nécessaire pour déterminer la fusion de l'étain.

A partir de ce point, la chaleur allait en diminuant jusqu'à 8 mètres de distance; là le thermomètre présenté au jet de vapeur marquait 100 degrés, ce qui indiquait que la vapeur avait perdu toute la chaleur employée à la surchauffer et qu'elle était revenue à l'état de vapeur saturée.

En élevant la tension de la vapeur à 2, 3, 4, 5, 6 atmosphères et la laissant pénétrer sous ces pressions dans le générateur, les résultats ont toujours été à peu près les mêmes. Lorsque la chaudière produisait de moins grandes quantités de vapeur, et que cette vapeur séjournait une, deux, trois secondes dans le générateur, elle ne s'échauffait pas davantage, ce qui nous montra qu'un intervalle de temps de deux tiers de seconde était plus que suffisant pour que la température de la vapeur en contact avec des surfaces rouges s'échauffât autant qu'elle le pouvait.

Cette expérience nous donnait la limite supérieure du temps nécessaire pour échauffer la vapeur; mais il nous parut qu'il serait utile aussi d'entreprendre une nouvelle série d'expériences, pour s'assurer, d'une manière au moins approximative, de la limite inférieure du temps employé à ce réchauffement.

A cet effet, je fis disposer un autre fourneau dans lequel on établit le générateur qui avait servi à nos premières expériences. Il était aussi formé par deux tubes en fer de $0^m,027$ de diamètre, $0^m,96$ de long, communiquant

entre eux et noyés dans un bloc de fonte; il représentait une capacité de $\frac{1}{2}$ litre. On détermina la quantité de vapeur destinée à traverser ce générateur en chauffant modérément la chaudière pendant trois heures. L'évaporation, pendant ce temps, fut de 45 kilogrammes, représentant une production de vapeur de 7 litres par seconde; le générateur fut porté au rouge obscur à la partie inférieure; les trois métaux étant fondus à la partie supérieure, on y introduisit la vapeur en la laissant s'échapper, et l'on observa que l'étain seul fondait dans les godets sur le tube de décharge de la vapeur à sa sortie du générateur, ce qui annonçait une chaleur de 230 degrés; et, comme la vapeur ne séjournait dans le générateur que $\frac{0,5}{7} = 0,071 = \frac{1}{14}$ de seconde, on en conclut que le temps nécessaire à l'échauffement de la vapeur était compris entre 63 centièmes et 7 centièmes de seconde.

Les expériences que nous avions faites étaient plus que suffisantes pour nous démontrer l'inutilité d'employer plusieurs générateurs; elles commencèrent même à nous faire craindre de trouver, dans la grande promptitude avec laquelle s'échauffait la vapeur, des difficultés et des obstacles sur lesquels nous n'avions pas compté. Nos idées se tournèrent alors sur les moyens à employer pour débarrasser promptement la vapeur de ce qui lui restait de la chaleur qu'elle avait acquise dans le générateur, chaleur qui avait doublé son volume et produit le coup positif, pour la ramener à l'état de vapeur saturée, où son volume et sa tension étaient diminués de moitié.

Il fallait pour cela que cette condensation durât tout le temps du coup négatif, c'est-à-dire une seconde environ; pendant cet intervalle la vapeur avait le temps de se refroidir plusieurs fois et d'acquérir de nouveau sa température première; il s'ensuivait que la quantité de chaleur employée devait être bien plus considérable que celle qui eût été strictement nécessaire pour le réchauffement de la vapeur.

Mais comme, d'après les expériences de M. Regnault, cette quantité de chaleur est très-faible, que nous ne remarquions pas que la température du générateur s'abaissât lorsque nous y faisions passer de plus grandes quantités de vapeur, nous ne nous préoccupâmes nullement de cet excédant d'emploi de chaleur, d'autant plus que les modifications que cet excès de dépense de chaleur rendaient possibles tendaient beaucoup à simplifier la construction, le jeu et la conduite de la machine.

La manière dont on refroidirait la vapeur, en s'emparant après le coup positif de cette quantité de chaleur, afin de diminuer sa tension et son vo-

lune pendant le coup négatif, devint, dès ce moment, la partie la plus importante du problème à résoudre.

Convenait-il d'injecter, à chaque coup de piston, une faible quantité d'eau dans l'appareil, de façon à employer tout le calorique existant dans la vapeur, et de plus celui qu'aura produit le générateur pendant le temps du coup négatif, afin que cette eau se réduisant ensuite en vapeur, la machine se trouvât alimentée de ses pertes à chaque coup de piston? C'est ce qui aurait été le plus simple et le plus avantageux pour l'effet, la marche ou la conduite du moteur. Ou bien devait-on, comme l'avait fait Watt, établir pendant le coup négatif une communication entre le générateur et un condenseur entouré d'eau, dans lequel on injecterait à chaque coup de piston une faible quantité d'eau froide pour ramener la vapeur surchauffée à l'état de saturation, lui permettant ensuite, pendant le coup positif, de reprendre sa température, de doubler son ressort et son volume?

La question me parut assez importante pour qu'il fût nécessaire de tenter successivement tous ces essais.

Afin de profiter des dispositions déjà prises, nous fîmes pénétrer dans la branche supérieure du grand générateur un tuyau en cuivre de 5 millimètres de diamètre, terminé par une petite pomme au bout de laquelle étaient percés des trous dans la direction de la longueur du générateur. A l'autre extrémité du tube, nous ajustâmes une pompe d'injection à main, dont le piston avait 3 centimètres de diamètre, de manière à pouvoir lancer avec violence un jet d'eau dans le générateur au moment où nous le jugerions convenable. Puis, le générateur fut mis en communication avec la chaudière, dans laquelle la vapeur était tendue à 5 atmosphères. Le manomètre du générateur indiqua instantanément aussi 5 atmosphères. On ferma le robinet de communication entre la chaudière et le générateur, en même temps qu'on appuyait fortement sur le piston de la pompe pour injecter de l'eau dans le générateur. Mais le manomètre n'éprouva aucun abaissement sensible; la soupape de sûreté fut soulevée, et la vapeur formée par l'eau introduite dans le générateur se répandit dans l'air.

Nous pensâmes que l'eau lancée dans le générateur atteignait peut-être trop vite ses parois rouges, et qu'elle avait le temps de se réduire en vapeur elle-même, avant d'absorber le calorique de la vapeur surchauffée; nous changeâmes alors la disposition de l'appareil en substituant à la pomme percée un petit canal en cuivre très-mince, isolé du générateur et s'étendant dans presque toute la longueur de sa branche supérieure.

L'eau fut ensuite injectée dans ce canal, dans les mêmes conditions que dans l'expérience précédente. Au moment de l'injection, le manometre indiqua un tres-léger abaissement de tension, mais il remonta immédiatement plus haut qu'il n'était auparavant.

Voulant épuiser cette série d'expériences, et supposant que le petit conduit en cuivre acquérait peut-être une température propre, indépendante de celle de la vapeur, et qui pouvait être employée à vaporiser l'eau qu'on y introduisait, nous fîmes une autre expérience. Nous établîmes une cornue à gaz, ayant 25 centimètres de diamètre moyen, $1^{m},40$ de longueur, dans un fourneau où elle fut placée verticalement; pour éviter les accidents, cette cornue fut reliée du haut en bas et de 10 en 10 centimètres avec des cercles en fer que l'on fit entrer à chaud pour obtenir un contact plus immédiat. On plaça dans le fond une coupe en cuivre très-mince, pour recevoir l'eau qui ne se serait pas vaporisée en tombant de l'extrémité supérieure jusqu'en bas. L'appareil fut muni d'une soupape de sûreté, d'un manomètre, d'une pompe d'injection, et porté au rouge obscur. A ce moment, on y introduisit de la vapeur à 5 atmosphères, on ferma le robinet de communication entre la chaudiere et la cornue, on lança un jet d'eau dans la cornue, mais le manometre n'annonça, comme dans les expériences précédentes, que les abaissements insensibles, quoique l'on fît varier la tension de la vapeur, la température du générateur, la quantité d'eau et son mode d'injection, en la lançant avec plus ou moins de force dans le générateur.

Le résultat de toutes ces expériences nous fit juger qu'il convenait d'abandonner entièrement ce mode de condensation, et nous tournâmes nos vues sur un système analogue à celui de Watt où la condensation s'opère dans un réservoir séparé.

Nous établîmes donc un condenseur aussi près que possible du générateur en le faisant communiquer avec lui par le moyen d'un robinet à large ouverture. Ce condenseur était formé par un réservoir cylindrique en fonte, ayant 18 centimètres de diamètre intérieurement, 18 centimètres de hauteur et 5 centimètres d'épaisseur, ce qui représentait une capacité d'un peu plus de 4 litres; il était entouré d'un réfrigérant ayant une capacité de 6 litres qui fut rempli d'eau. La vapeur ayant été introduite dans le générateur, on ferma le robinet de communication de la chaudière, et l'on ouvrit celui qui communiquait avec le condenseur. A l'instant, le manometre indiqua, dans le générateur, une diminution de pression considérable, et elle se prolongea aussi longtemps qu'il resta en communication avec le condenseur.

L'eau du réfrigérant s'échauffait rapidement à mesure que l'on réitérait

les expériences, et finit par atteindre 100 degrés; mais la diminution de condensation ne fut pas en rapport avec l'élévation de température de l'eau du réfrigérant, la rapidité avec laquelle la vapeur surchauffée cédait son calorique à l'eau du réfrigérant produisait une véritable décrépitation accompagnée d'un bruit analogue à celui d'un fer rouge plongé dans l'eau; et l'eau du réfrigérant était à chaque fois lancée à une assez grande hauteur par-dessus ses bords, par suite de la grande quantité de vapeur qui se formait instantanément.

Ces expériences furent répétées un grand nombre de fois pour bien constater un fait sur lequel reposait désormais tout le succès de la machine; les résultats furent très-variables parce qu'ils dépendaient d'une multitude de causes difficiles à apprécier et à démêler, telles que le mode de condensation, suivant que l'on introduisait ou non de l'eau dans le condenseur, la température de l'eau du réfrigérant, la chaleur du générateur, la tension et le degré de saturation de la vapeur qu'il contenait, la quantité soit d'air, soit d'autres gaz qui pouvaient être produits par la décomposition de l'eau en vapeur dans le générateur, par son contact avec des surfaces métalliques à des températures très élevées, etc.

Le résultat moyen de vingt expériences faites le 4 février fut de déterminer un abaissement dans les pressions inférieures de 3 à 27 atmosphères, le même que dans les tensions plus élevées, où le manomètre tomba de 6 à 4 atmosphères.

Le 11 et le 12 mars, la moyenne de soixante expériences donna une condensation ou abaissement de pression de 5 atmosphères et demie à 3 atmosphères et demie, et dans la pression plus élevée de 9 à 5 atmosphères.

Nous essayâmes aussi de substituer au condenseur cylindrique un tuyau en cuivre aplati ayant $1^m,60$ de longueur, $0^m,042$ de diamètre et 2 litres de capacité, entouré d'une bâche faisant fonction de réfrigérant, pouvant contenir 10 litres d'eau. Dans les expériences qui furent faites avec l'un et l'autre appareil, les bâches furent tantôt laissées vides, et tantôt on y introduisit de plus ou moins grandes quantités d'eau; mais les résultats n'en furent que faiblement influencés. La seule tendance qui se fit toujours remarquer fut que les condensations étaient toujours d'autant plus considérables, plus promptes et plus régulières, que la vapeur était plus tendue.

Lorsqu'on ouvrait et fermait alternativement le robinet de communication entre le générateur et le condenseur sans introduire de nouvelle vapeur, on obtenait dans le condenseur des alternatives de hausse et de baisse indiquées par le manomètre, allant toujours en diminuant, et qui finissaient par devenir insensibles au bout de huit à dix oscillations. Il paraissait

évident que la promptitude de la condensation était influencée par le mouvement de la vapeur qui se portait rapidement vers le condenseur lorsqu'elle était très-tendue; mais qu'à mesure que la violence de ce mouvement diminuait, il s'établissait une sorte d'équilibre entre la tension de la vapeur surchauffée et non saturée contenue dans le générateur et la vapeur saturée contenue dans le condenseur. Il nous sembla que cet état d'équilibre amenait une lenteur et une paresse dans l'acte de la condensation, et nous présumâmes dès lors que la promptitude de la condensation devait être favorisée par de très-larges communications entre le générateur et le condenseur, et par l'emploi de vapeur à de très-hautes pressions.

Il résultait évidemment pour nous de l'ensemble de toutes ces expériences, qu'il était possible de se servir de la vapeur en l'employant comme intermédiaire entre la chaleur et la force; et qu'il suffirait pour cela de la faire passer, au moyen de dilatations et de condensations successives, par divers états de tension et de température. Nous fîmes immédiatement aux plans de notre machine les modifications démontrées nécessaires par les expériences que nous avions si souvent répétées, et nous en poussâmes vigoureusement la construction.

Les nouvelles conditions dans lesquelles elle devait être construite en simplifiaient singulièrement l'exécution; le jeu en devenait plus facile et la conduite plus aisée; la suppression d'un des générateurs emportait avec elle celle des soupapes destinées à faire passer la vapeur alternativement dans l'un et dans l'autre, lorsqu'elle était au plus haut degré de température possible. Le problème me parut donc plus que jamais en voie de recevoir une complète et satisfaisante solution.

Mais tous ceux qui ont été dans le cas de monter et de mettre en activité des machines, et surtout de nouvelles machines, savent combien ce travail ingrat est hérissé de difficultés; ils savent que ces réussites complètes, ces passages de l'enfance de l'art à son état adulte, comme pour la navigation à vapeur, si imparfaite du temps de Fulton, et qui est parvenue de nos jours à opérer de si étonnants prodiges, sont toujours dus à un ensemble bien ordonné de dispositions qui semblent minutieuses et sans importance à ceux qui sont étrangers à cet art difficile, mais dont la perfection et l'harmonie ne s'obtiennent qu'avec beaucoup de temps et d'efforts.

La construction de la nouvelle machine exigea près de trois mois; elle ne put être montée dans le local spécial qui avait été disposé à cet effet, que dans le courant de juin, et ce ne fut qu'après de longs tâtonnements qu'il nous fut possible de la faire fonctionner de manière à pouvoir consta-

ter des résultats positifs en rapport avec ce que la théorie m'avait indiqué.

Cette nouvelle machine est composée d'un piston creux en fonte de fer de $1^m,50$ de longueur, de $0^m,40$ de diamètre, alézé sur toute sa longueur; une bielle fixée à l'extrémité de la tige de ce piston s'adapte à une manivelle fixée à un arbre de 10 centimètres de diamètre sur lequel est établi un volant du poids de 3 000 kilogrammes.

Le piston de la machine joue dans le cylindre de manière à laisser entre eux un intervalle d'un demi-millimètre. La vapeur est contenue par une garniture en étoupe renfermée dans un stuffen-box placé à l'extrémité du cylindre.

Entre le cylindre et le générateur se trouve une pièce en fonte percée de deux ouvertures répondant à l'une et à l'autre des deux branches du générateur, et débouchant dans le cylindre; l'ouverture supérieure est munie d'un clapet qui permet à la vapeur de passer du cylindre dans le générateur pendant le coup négatif; un autre clapet placé dans l'ouverture inférieure laisse pénétrer la vapeur du générateur dans le cylindre, au commencement du coup positif; en sorte que la vapeur accomplit continuellement un mouvement de rotation qui lui permet d'aller puiser à chaque coup de piston, dans le générateur, la chaleur qu'elle a perdue en produisant la force mécanique.

En arrière du clapet supérieur, du côté du condenseur, il y a une tige en fonte de fer, percée d'une ouverture de 5 centimètres de diamètre, qui communique à un condenseur en cuivre de 12 litres de capacité : ce condenseur est contenu dans une bâche en fer-blanc remplie d'eau qui fait l'office de réfrigérant. La communication entre le générateur et le condenseur est établie au moyen d'un robinet en fonte de fer ayant même section que celle de l'ouverture sur laquelle il est placé; un second robinet établit une communication entre une chaudière à vapeur et le générateur; ils sont l'un et l'autre mis en mouvement par la machine elle-même au moyen d'excentriques, et ce sont là les deux seuls organes qui servent à régler tous ses mouvements.

Des soupapes de sûreté et des manomètres de Bourdon sont établis sur la chaudière et le générateur.

Nous n'avons pas cherché à apprécier, au moyen du frein de Prony, la quantité de puissance mécanique développée par la machine, parce que le frein n'aurait pu nous indiquer que des résultats trop éloignés de la vérité, d'autant plus que son établissement provisoire nous aurait fait négliger tous les petits soins qu'il eût été necessaire d'apporter à son montage. Nous nous sommes contentés de constater, au moyen de manometres, la pression de la

vapeur sur le piston dans les diverses phases de son mouvement, ce qui atteignait le même but, en éliminant toutes les causes d'erreur provenant des défauts dans les détails de construction et de montage, défauts que l'on est certain d'atténuer dans l'exécution en grand, de telle sorte qu'ils ne dépassent pas ceux qui existent toujours dans les meilleures machines en usage dans l'industrie.

Aussitôt que la machine a été en état de fonctionner, nous nous sommes empressés de répéter les expériences sur la condensation de la vapeur surchauffée ; nous avons porté le générateur au rouge, et la vapeur se trouvant tendue dans la chaudière à 7 atmosphères, elle a été introduite dans le générateur ; son manomètre a indiqué aussitôt la même tension ; on a fermé alors le robinet d'introduction, et ouvert immédiatement après celui qui mettait en communication le générateur avec le condenseur : la tension indiquée par le manomètre est alors tombée brusquement de 7 atmosphères à 3 atmosphères et demie ; et lorsque le manomètre de la chaudière a indiqué 7 atmosphères et demie, elle est tombée à 3 atmosphères trois quarts.

Ces expériences, répétées un grand nombre de fois, ont toujours donné à peu près les mêmes résultats; nous avons attribué leur supériorité sur les premières que nous avions faites, à une meilleure disposition du condenseur, à des ouvertures plus larges, une température plus uniforme et plus élevée dans le générateur, etc. L'eau du réfrigérant était soulevée avec violence et projetée par-dessus ses bords ; l'abaissement très-lent du manomètre indiquait plus tard une condensation de la vapeur saturée, on constatait donc deux phases bien tranchées et bien distinctes dans l'acte de condensation : la première ramenant subitement la vapeur surchauffée à l'état de saturation et lui faisant perdre la moitié de son ressort ; la seconde la condensant avec une extrême lenteur et l'amenant à l'état d'eau liquide.

Lorsque la machine fonctionnait, il était nécessaire, pour entretenir son jeu d'une manière régulière, d'introduire à chaque coup de piston dans le générateur une certaine quantité de vapeur nouvelle, soit pour réparer les pertes de la machine, soit pour faire sortir du condenseur l'air dégagé pendant l'ébullition de l'eau et entraîné par la vapeur, soit pour produire quelque autre effet inconnu dont dépend le bon fonctionnement de la machine.

Il serait difficile, avec des données aussi imparfaites, d'estimer le travail de la machine, et c'est ce que je n'entreprendrai pas de faire. Je me contenterai de constater que, la pression de la vapeur étant dans le coup positif de 7 atmosphères et demie au commencement, de 3 atmosphères à la fin, ce qui constitue une pression moyenne de 5 atmosphères, dans le coup négatif de 2 atmosphères et demie, l'effet utile de la machine est une pression de

2 atmosphères et demie, différence entre les pressions des coups positifs et négatifs. Cette pression représente un effort constant de 1k,25 par centimètre carré, exercé sur le piston pendant toute la durée de sa course; or cet effort est une fois et demie l'effort obtenu avec la machine de Watt.

La dépense, pour arriver à ce résultat, se réduirait à celle qui est nécessaire pour élever jusqu'à 400 ou 500 degrés la température de la vapeur saturée à 3 atmosphères et demie et à 140 degrés, dépense que nos appareils n'étaient pas assez parfaits pour constater, mais qui doit être très-faible, si l'on considère que, quelle que soit la rapidité avec laquelle nous ayons fait traverser la vapeur au générateur chauffé au rouge, le séjour qu'elle y a fait, ne s'élevant jamais qu'à une faible fraction de seconde, a toujours suffi pour amener sa température à un degré de chaleur approchant de celui des surfaces avec lesquelles elle se trouvait en contact; sans que nous ayons jamais pu remarquer, pendant ce temps, aucun signe sensible d'abaissement de température dans le générateur.

Il faut ajouter à cette dépense celle occasionnée par la vapeur introduite dans le générateur à chaque coup de piston pour réparer les pertes de la machine. Qu'est cette nouvelle dépense? Nous n'avons pas pu l'établir, mais nous croyons que la quantité de vapeur additionnelle ne doit pas s'élever au dixième de ce qu'elle est dans une machine de Watt, produisant le même effet. Nous avons pu constater, en outre, que la vapeur surchauffée cède sa chaleur avec une grande promptitude et une extrême facilité aux surfaces relativement plus froides avec lesquelles elle se trouve en contact, nous avons pensé dès lors que cette condensation aura également lieu à une température supérieure à celle de l'ébullition de l'eau, et qu'il conviendra de faire du réfrigérant une véritable chaudière à vapeur destinée à alimenter la machine elle-même, ce qui permettra de supprimer la chaudière employée actuellement à cet usage.

La vapeur en effet arrive dans le condenseur a une température de 400 à 500 degrés toute disposée à abandonner le peu de chaleur qui, en se dilatant, double son volume. Si cet effet est produit avec tant de rapidité, lorsque le condenseur est entouré d'eau à 100 degrés, il est à présumer qu'en augmentant les surfaces par lesquelles il est en contact avec l'eau du réfrigérant, et y injectant, comme Watt l'a fait, une faible quantité d'eau au commencement du coup négatif, eau qui, dans tous les cas, servira à la mise en train de la machine, la condensation aura lieu, à peu de chose près, aussi facilement lorsque l'eau du réfrigérant sera portée à 150 ou 160 degrés, température de la vapeur saturée au degré de tension où elle sera employée.

Cette nouvelle température étant celle de la vapeur saturée à la pression qu'elle doit avoir en entrant dans le générateur pour se surchauffer, l'eau du réfrigérant se trouvera ainsi tout naturellement et très-économiquement transformée en vapeur alimentant la machine.

C'est dans ces nouvelles conditions que nous la faisons actuellement modifier; elle sortira alors du caractère de machine d'essai pour faire un service régulier, et il deviendra possible d'apprécier exactement et avec certitude l'économie qu'elle présentera sur les autres systèmes actuellement en usage dans l'industrie.

Fig. 1.



Mais comme ces diverses modifications demanderont nécessairement un laps de temps assez considérable, j'ai pensé qu'après avoir annoncé, il y a deux ans, à l'Académie l'intention où j'étais de mettre à exécution les idées que j'avais conçues pour le perfectionnement des machines à vapeur, il convenait, après un si long espace de temps, de lui faire part des succès que j'avais obtenus, et des espérances de réussite bien mieux fondées aujourd'hui qu'elles ne l'étaient alors.

Les figures ci-jointes donneront une idée très-suffisante de la nouvelle machine pulmonaire ou à vapeur régénérée de M. Seguin.

La *fig.* 1 est un plan général de la machine, vue en partie en section horizontale. La *fig.* 3 en est une section verticale.

La *fig.* 2 est un détail du nouveau mode de distribution simplifié, vu en section verticale.

On voit, à l'aide de ces figures, que l'ensemble de la machine se compose d'un système de doubles cylindres C, C', dans lesquels se meuvent des pistons P, P', terminés par des tampons T, T'. Ces tampons sont creux et remplis de

charbon pilé ou autre corps mauvais conducteur du calorique. Ils sont plus longs qu'il ne serait nécessaire pour accomplir leur course sans sortir du cylindre, pour que l'extrémité du tampon, qui acquiert une très-haute température continuellement en contact, comme il l'est, avec les gaz ou vapeurs surchauffées, ne puisse jamais s'approcher trop près du stuffen-box S, S', ou boîtes à garnitures métalliques qui forment le joint pour contenir la vapeur, ce qui pourrait brûler les étoupes ou détériorer les garnitures.

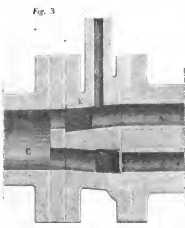


Fig. 3

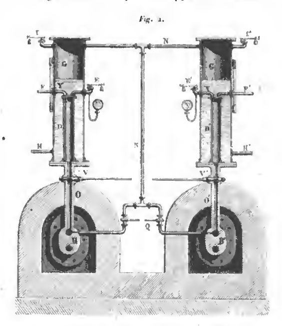
Entre le cylindre et le générateur, on a ajouté une boîte d'introduction de vapeur B, B', dans laquelle se trouvent placés deux clapets L, K, l'un au-dessus de l'autre, répondant chacun à l'une des branches du générateur. Le clapet supérieur K peut se fermer de manière à empêcher l'introduction de la vapeur dans le générateur; et l'inférieur L, au contraire, permet à la vapeur de passer du générateur dans le cylindre de telle manière que la vapeur passe continuellement de la partie inférieure du générateur dans le cylindre pendant le coup positif, et y rentre pendant le coup négatif par la branche supérieure, de manière à établir une rotation continuelle pendant laquelle la vapeur vient, à chaque coup de piston, traverser les parties les plus échauffées du générateur.

En avant du clapet supérieur, du coté du générateur, s'élève une tubulure fendue ou rapportée sur la boîte d'introduction de la vapeur, et percée d'une ouverture O et O' qui communique du générateur au condenseur. C'est dans cette tubulure que se trouve établi le tiroir ou robinet V, V' (*fig.* 2), qui établit ou intercepte la communication entre le générateur A et le condenseur D.

Ce condenseur est percé, à sa partie supérieure, pour recevoir la bride d'un tuyau Y, Y', au bout duquel se trouvent placés une soupape de sûreté E, E', et un manomètre M, M'. De l'autre côté de cette ouverture, on établit le tuyau F, F', qui communique avec la pompe d'injection ou robinet d'alimentation, pour opérer la condensation dans le condenseur.

Chacun des réfrigérants G, G′, qui enveloppe le condenseur et fait l'office

Fig. 1.

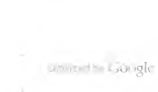


de la chaudière à vapeur, est muni d'un tuyau H, H′, communiquant avec une pompe alimentaire et une soupape de sûreté I, I′, pour régulariser la tension.

Ces deux réfrigérants communiquent avec leur générateur respectif par un tuyau à deux branches (*fig.* 2), pour y introduire la vapeur qu'ils produisent au commencement du coup positif; l'introduction de la vapeur est réglée par la machine, en faisant fonctionner, en temps opportun, les robinets distributeurs Q et Q′.

Enfin, les petites soupapes E, E′, mues également par les machines, servent à faire échapper la vapeur des cylindres à la fin du coup positif, pour régulariser la tension de la vapeur et la marche de la machine.

PARIS. — IMPRIMERIE DE MALLET-BACHELIER,
rue du Jardinet, 12






BIBLIOTECA